

Kutatási beszámoló

Robusztus becslési és irányítási algoritmusok

OTKA ny.szám: 68370

Vezető kutató: Vajk István

A kutatás időtartama: 2007-2011

A BME Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék jelen pályázat keretében végzett kutatásainak alapvető célkitűzése volt olyan módszerek, algoritmusok és eljárások kutatása, amelyek az irányítandó objektumról mérések útján begyűjtött adatokból megbízható modelleket képesek előállítani, majd ezek ismeretében intelligens irányítási algoritmusokat képesek működtetni.

A korszerű irányítási rendszerekben az információhoz (mérési adatokhoz) jutás költsége drasztikusan lecsökkent. Ennek eredményeként ma már nem a mérések realizálása, hanem a hatalmas mennyiségben rendelkezésre álló mérési adatok rendszerezése, és adott célok szerinti feldolgozása a probléma. Más résziről a folyamatirányításban használt eszközök számítási kapacitása is jelentősen megugrott. Ez lehetővé teszi, hogy magasabb minőségi követelményeknek eleget tevő szabályozási algoritmusokat használjunk. A mai számítási teljesítmények mellett egyre közelebb kerül annak a lehetősége, hogy a duális irányítás (szimultán modellezés és irányítás) számítási idő és tárproblémáit kezelni tudjuk.

A jelen kutatás keretében a 2007-2011 időszakban az alábbi kiemelt témákkal foglalkoztunk.

Robusztus identifikáció

A jelen kutatás keretében többek között a "sok adat - alacsony információ tartalom" paradigma kezelésének lehetséges módjaival foglalkoztunk. Napjaink irányítástechnikájában két jellemző tendencia figyelhető meg. Egyrésztől fennáll, hogy az ipari folyamatok mai átlagos műszerezettség az irányítási stratégia kialakítása, a technológiai folyamatok monitorozása és diagnosztizálása tömören úgy jellemezhető, hogy a rendelkezésre álló adatok száma - a tipikusan számítógépes adatgyűjtés következtében - igen nagy. Ugyanakkor az adatokból kiszűrt információ - a feldolgozás viszonylag alacsony foka következtében - csekély. Másrészt érvényes az értékelés, hogy a gondosan megválasztott szimulációs környezetben és megtervezett gerjesztő jelekkel aktualizált becslési algoritmusok adások maradtak a várt eredményekkel gyakorlati körülmények között. Ezért olyan technikákat

dolgoztunk ki, amelyek nem ideális gerjesztések esetén is képesek a rendelkezésre álló információt kinyerni a rekordokból és beépíteni a folyamat modelljébe. A pályázat keretében kidolgozott becslési módszereket ilyen szempontból tekinthetjük robusztus technikáknak.

A rendszeridentifikáció leggyakrabban használt megközelítései olyan matematikai modellekre építenek, amelyekben a függő változó, a rendszer kimenete zajos, ugyanakkor a rendszer bemenetét zajmentesnek tételezik fel. Számos alkalmazásban (pl. bizonyos szabályozási feladatoknál, kép- és hangfeldolgozásnál, idősorok analízisének,...) nemcsak a kimenőjel, hanem a bemenőjel is zajos. A modellezés nem explicit, hanem általánosabb implicit modellstruktúrát tételez fel. Az ilyen alkalmazásoknál - általában - nem arra keressük a választ, hogy mi lesz a rendszer prediktált kimenete, hanem azt vizsgáljuk, hogy mi a jelek közötti belső kapcsolat, milyen modell építhető fel a mérhető mennyiségek között. Az olyan modelleket, amelyekben valamennyi jelkomponens zajos - az angol terminológiában - errors-in-variables (EIV) modelleknek nevezik. Az EIV modellek esetén a folyamat és zajparaméterek együttes becslése másodrendű momentumokból nem lehetséges.

Új algoritmusokat dolgoztunk ki errors-in-variables modellek identifikációjára. A módszerek lehetővé teszik a folyamat és zaj paraméterek együttes becslését. Az algoritmusok a jeltér PCA illetve SVD szeparációjával, majd pedig a szeparált adatbázison végzett paraméterbecsléssel és ezek összevetésével képesek az együttes folyamat és zaj modell meghatározására. Vizsgáltuk a módszerek hatékonyságát. Továbbá módszereket dolgoztunk ki célfüggvény alapú, valamint osztályozási elven működő identifikációs technikákra. A kidolgozott algoritmusokat – többek között - zenei felvételek szeparációjára, alakfelismerési és osztályozási feladatok megoldására használtuk.

Az irányítástechnikában egyre nagyobb szerepet játszanak a nemlineáris rendszerek. A szabályozástechnika klasszikus nemlineáris rendszert linearizáló módszereinél lényegesen jobb eredményeket lehet elérni a nemlineáris jelleget is figyelembe vevő irányításokkal. A kutatások során azt vizsgáltjuk, hogyan lehet nemlineáris EIV modelleket becsülni mérési adatok alapján. Általánosítottuk a dinamikus lineáris modellekre kidolgozott EIV algoritmusokat polinomiális jellegű nemlineáris rendszerekre. Továbbá eljárásokat dolgoztunk ki a pontszerű objektumokra kidolgozott *k közép* algoritmusok kiterjesztésére polinomiális összefüggéssel leírható objektumokra.

Robusztus irányítás

A predikciós irányítási algoritmusok alkalmazását a 70-es évek közepén vetették fel, de ennek ellenére még számos megoldása váró feladat található ezen a területen. A predikciós irányítás célja az, hogy a folyamatnak a jövőbe előrevetített viselkedése egy megadott tartományban minél kevésbé térjen el egy előre megadott kívánatos viselkedéstől. Egy ilyen kritériumot matematikai formában megfogalmazó költségfüggvényt minimalizálva a beavatkozó jelek sorozata meghatározható. Az ún. csúsztatott horizontú technikával – bár a beavatkozójelnek több egymás után alkalmazható értéke rendelkezésre áll - csak az első beavatkozó jelet

működtetjük a folyamat bemenetén, majd az eljárást a következő mintavételi időpontban megismételjük. Az algoritmusok a korlátozások kezelését is biztosíthatják.

Kutatást végeztünk robusztus predikciós irányítási algoritmusok lineáris és nemlineáris rendszerek irányításának területén is. Lineáris rendszerekre vizsgáltuk a predikciós PID algoritmusok robusztusságát növelő módszereket. A predikciós PI(D) algoritmusok a hibajel egy adott jövőbeni tartományban prediktált értékeit alkalmazzák a beavatkozáj el meghatározására. Egytárolós és kéttárolós holtidős szakaszokra adtunk meg predikciós PID algoritmusokat. A PID szabályozó hangolására - megfelelő módosítással - alkalmazhatók az ismert ökölszabályok. Ugyancsak megadhatók hangolási szabályok GPC-predikciós PID ekvivalencia alapján. A predikciós PID algoritmusok robusztusságának növelésére alkalmaztuk a zajmodell szűrőpolinomját, valamint az eredeti struktúra kiegészítését egy Smith prediktorhoz hasonló struktúrával megfelelő szűrő beiktatásával. A két kiegészítést együttesen alkalmazva is vizsgáltuk az algoritmus viselkedését.

Korábban említettük, hogy az irányítástechnikában egyre nagyobb szerepet játszanak a nemlineáris rendszerek és felhívtuk a figyelmet arra, hogy a nemlineáris jelleget is figyelembe vevő irányítási algoritmusok használatának előnyeire. Amennyiben a rendszer tényleges leírása nem ismert, a nemlineáris rendszert univerzális approximátor segítségével modellezhetjük. A kutatás keretében megvizsgáltuk a különböző nemlineáris leírások ekvivalenciáját, valamint meghatároztuk az input-output ekvivalens leírások paraméterérzékenységét. Nemlineáris rendszerek irányítására a parametrikus kvadratikus Volterra modellen alapuló szuboptimális algoritmust dolgoztunk ki. Megadtuk a modell predikciós egyenleteit és az iterációs algoritmust. Az általunk kidolgozott algoritmusnál a becsülni kívánt paraméterszám jelentősen csökkenthető. Esettanulmányokat végeztünk egy kéttartályos rendszer szintszabályozására és egy laboratóriumi hőcserélő szabályozására. (Ez utóbbi vizsgálatokat a Sevillai Egyetem Automatizálási Tanszékén Marie Curie ösztöndíj keretében végeztük el.) Kifejlesztettünk kis számításigényű on-off predikciós szabályozási algoritmusokat is.

Rendszermodellezési kutatások

A mai információs társadalomban rendkívül sok adatot tartalmazó adatbázisok keletkeznek. Ezekből az adatokból kell kinyerni az értékes információt. Ezen adatbázisokban az információ megkeresése és azonosítása számításigényes feladat, amelyek megoldása mindenképpen hatékony adattömörítési eljárásokat igényel. Adatbányászati algoritmusok segítik a jellemző tulajdonságok kinyerését. A fenti megközelítés új lehetőséget jelent az irányítás által felügyelt folyamatok modellezésére. Olyan adatbányászati algoritmusokat kerestünk, amelyek segítségével hatékonyan megtalálhatók a statisztikai értelemben gyakori elemhalmazok, szekvenciák és részgráfok, valamint az adatok között fellelhető kapcsolatok, szabályok.

A kutatás mellett fontosnak tartjuk, hogy az elméleti kutatások nagymértékben hozzájárultak a szabályozástechnika tananyagának korszerűsítéséhez és oktatási módszereinek fejlesztéséhez. Társadalmú hasznúnak és kiemelkedőnek tartjuk a szabályozástechnika tárgy

oktatási színvonalának emelését a BME Villamosmérnöki és Informatika Karának mérnök informatikus szakán. A tárgyat a 3. évfolyamon több mint 400 hallgató veszi fel. A tárgyhoz új elméleti és gyakorlati jegyzet készült 2006-ban, amelynek két javított kiadása volt 2007-ben és 2009-ben. A tapasztalatokról 2010-ben IEEE nemzetközi konferencián számoltunk be. 2011-ben elkészült az elméleti jegyzet angol fordítása. A doktoranduszképzésben minden évben indított Adaptív rendszerek tárgyban a kutatási eredmények közvetlenül is felhasználásra kerülnek. Az elmúlt időszak alatt négy hallgató szerzett PhD fokozatot, további két hallgató pedig a fokozatszerzési folyamatot elindította.

Itt jegyzem meg, hogy az OTKA támogatás keretében a külföldi kiküldetések esetében takarékosági okokból a kiutazóknak napidíjat nem fizettünk. Az így megtakarított összeget - az OTKA előzetes engedélyével – a kutatással kapcsolatos infrastruktúra fejlesztésére fordítottuk.